

# BEVARINGSRAPPORT: TRONDHEIM, ERLING SKAKKES GATE 1-3. RESULTATER PR 1. SEPT 2020

Trondheim

Mike Voellmecke, Jørgen Engebretsen (Cautus AS), Liv B. Henninge,  
Anthony J. Dinning (COWI AS)





Tittel Bevaringsrapport: Trondheim, Erling Skakkes gate 1-3. Resultater pr 1. sept 2020 Trondheim	Rapporttype/nummer NIKU Rapport 104	Publiseringsdato 18.11.2020
	Prosjektnummer 1021403	Sider 39
	Avdeling Arkeologi	Tilgjengelighet Åpen
Forfatter(e) Mike Voellmecke, Jørgen Engebretsen (Cautus AS), Liv B. Henninge, Anthony J. Dinning (COWI AS)	ISSN 1503-4895 ISBN 978-82-8101-249-3	Periode gjennomført Juni 2019- september 2020
	Forsidebilde Installering av miljøovervåkingsutstyr i sjakt 2, Erling Skakkes gt 1-3. (Cautus Geo AS),	

Prosjektleder Chris McLees
Prosjektmedarbeider(e) Anna Petersén (NIKU), Liv Bruås Henninge (COWI AS); Mike Voellmecke (Cautus Geo AS)
Kvalitetssikrer Vibeke Vandrup Martens (NIKU); Stein Broch Olsen (COWI AS); Chris McLees (NIKU)

Finansiert av Thomas Angells Stiftelse, Trondheim
--

Sammendrag Det er i forbindelse med et langsiktig overvåkingsprosjekt gjennomført undersøkelser og installert miljøovervåkingsutstyr i to miljøprofiler i Erling Skakkes gate i Trondheim. Dette er oppfølgingsrapport nr 1 med overvåkingsdata
--

Abstract As part of a long-term urban environmental monitoring project, archaeological investigations were carried out in Erling Skakkes gate in Trondheim, and monitoring equipment was installed in two profiles in June 2019. This is the follow-up report nr 1 on monitoring data.
---

Emneord Miljøovervåking; profil; kulturlag; geokjemi; mikrobiologi, arkeologi, Trondheim
Keywords Environmental monitoring; section; archaeological deposits; geochemistry; microbiology; archaeology; Trondheim

Avdelingsleder  
Lise Marie Bye Johansen, NIKU. Stein Broch Olsen, COWI AS



## Forord

Dette er en årlig oppdatering av resultatene fra overvåkingen av bevaringstilstanden i Erling Skakkes gate 1-3 i Trondheim. Rapporten sammenstiller tidligere rapporterte resultater og observasjoner fra installasjon og innledende prøvetaking med oppdatert informasjon fra online-måleinstrumenter pr 1. september 2020.

---

## Definisjoner

I rapporten blir det brukt uttrykk som behøver en forklaring fordi de brukes forskjellig i ulike fagområder eller er lite kjent.

**Redoksreaksjoner:** Redoksreaksjoner består av to delreaksjoner, oksidasjon og reduksjon. Disse reaksjoner foregår vanligvis relativt langsomt, men i naturlige systemer fungerer mikroorganismer som katalysatorer slik at reaksjonene foregår mye raskere.

**Aerobe forhold:** Forhold der luft (oksygen) er til stede. Ved aerobe forhold blir organisk materiale og reduserte uorganiske forbindelser oksidert av mikroorganismer som omsetter oksygen (sammenlignbar med menneskelig respirasjon). Ved aerobe forhold kan man forvente en høyere mikrobiell aktivitet enn ved anaerobe forhold.

**Anaerobe forhold:** forhold der luft (oksygen) er fraværende. Ved anaerobe forhold blir organisk materiale oksidert av mikroorganismer som omsetter nitrat, oksidert jern og mangan, sulfat eller oksidert organisk materiale i stedet for oksygen. I naturlige miljøer er anaerobe forhold ensbetydende med reduserende (reduktive) forhold, men i hvilken grad forholdene er reduserende, varierer.

**Reduserende (reduktive) forhold:** Avhengig av forbindelsen som blir redusert, snakker man om nitratreduserende, jern- og manganreduserende, sulfatreduserende og metanogene forhold. Jo mer redusert redoksforholdene er, jo lavere er den mikrobielle aktiviteten.

## Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn .....	9
1.1	Analyseparametere kulturlag .....	9
1.2	Beskrivelse bevaringsforhold .....	10
2	Teknisk Installasjonsbeskrivelse (Cautus).....	12
2.1	Utstyr og sensorer .....	12
2.1.1	Plassering.....	14
2.2	Feltarbeid 19. – 21. juni 2019.....	15
2.2.1	Montering av kummer.....	15
2.2.2	Plassering av sensorer .....	16
2.2.3	Montering av måleskap og oppkobling av sensorer .....	17
2.2.4	Tildekking med leire .....	19
2.2.5	Feltlogg .....	20
2.3	Feilsøking 13.08.19 .....	21
3	Geokjemiske analyseresultater .....	21
3.1	Beskrivelse av prøvene fra kulturlagene og bevaringsvurdering .....	21
3.2	Analyseresultater jordprøver .....	22
4	Vurdering av resultatene pr. 9. september 2019 .....	23
4.1	Miljøprofil 2 .....	23
4.2	Miljøprofil 3 .....	24
5	Resultater fra onlinemålinger pr. 1. september 2020.....	24
5.1	Miljøprofil 2 .....	24
5.2	Miljøprofil 3 .....	24
6	Bevaringsvurdering.....	25
6.1	Miljøprofil 2 .....	25
6.2	Miljøprofil 3 .....	25
6.3	Oppsummering og evt. endring siste år .....	26
7	Konklusjon .....	27
8	Referanser .....	27
VEDLEGG 1	Innledende sensordata .....	28
	Skap 1 – Miljøprofil 3 .....	28
	Ledningsevne .....	28
	Oksygen .....	28
	pH.....	29
	Redox .....	29
	Temperatur .....	30
	Vanninnhold .....	30
	Skap 2 – Miljøprofil 2 .....	31
	Ledningsevne .....	31
	Oksygen .....	31
	pH.....	32
	Redox .....	32
	Temperatur .....	33
	Vanninnhold .....	33
VEDLEGG 2	Sensordata pr 1. september 2020.....	34
	Skap 1 – Miljøprofil 3.....	34
	Ledningsevne og pH .....	34
	Oksygen og redokspotensiale .....	34

---

Temperatur.....	35
Vanninnhold og ledningsevne .....	35
Vanninnhold og nedbør.....	36
Skap 2 – Miljøprofil 2.....	37
Ledningsevne og pH .....	37
Oksygen og redokspotensiale .....	37
Temperatur.....	38
Vanninnhold og ledningsevne .....	38
Vanninnhold og nedbør.....	39



## 1 Bakgrunn

COWI AS og Cautus Geo AS har fått oppdrag fra Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU) å gjennomføre overvåking av kulturlag i de store middelalderbyene i Norge (Bergen, Trondheim og Tønsberg). Overvåkingen innebærer prøvetaking av jord og grunnvann fra miljøbrønner og miljøprofiler og tolkning av resultatene.

Denne rapporten presenterer installasjonsdata for teknisk overvåking av kulturlaget og analytiske resultater av prøver fra to miljøprofiler (miljøprofil 2 og miljøprofil 3) ved Erling Skakkes gate 1-3 i Trondheim.

Måleutstyret benyttet består av to måleskap med datalogger og modem satt opp for trådløs overføring av data fra sensorer i hver miljøprofil som måler vanninnhold, temperatur, ledningsevne, pH, redoksforhold, og oksygeninnhold i kulturlagene.

Etter installasjonen ble det mistenkt at målingene fra pH- og redokssensorene ved jordprofil 2 var unormale. På grunn av dette ble det foretatt en feilsøking 13.08.19. Etter kvalitetssikring av loggerdata ble det hentet inn data etter en periode.

Rapporten beskriver arbeidet som har blitt utført fram til september 2020 med beskrivelser og bilder av utstyr og installasjonsmetode. Det er også presentert en vurdering av bevaringsforhold for organiske og uorganiske material basert på resultatene.

### 1.1 Analyseparametere kulturlag

Analyseparametere for miljøovervåking av kulturlag beskrives i NS9451:2009. Parametere er delt inne i grunnleggende parametere (S1) og miljøparametere (S2). Parametere i S1 og S2 beskrives i Tabell 1.

Tabell 1. Oversikt over analyseparametere i gruppene S1 og S2.

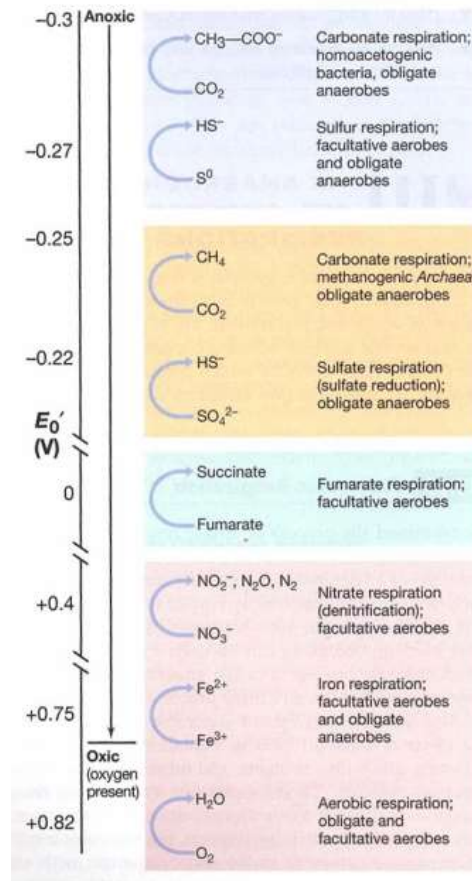
S1	S2
Tørrstoffinnhold	Matrikspotensiale (pF)
Glødetap	Porøsitet
pH	Sulfat
Ledningsevne / klorid	Sulfid
	Jern (II)
	Jern (III)
	Ammonium (ekstraherbart)
	Nitrat

Innsamlet data brukes til å vurdere bevaringsforhold av kulturlagene. Dette baseres hovedsakelig på inntrenging av oksygen som påvirker redoksforholdet i jorden (som % O<sub>2</sub> eller som redoks). I tillegg overvåkes / analyseres fuktighet og en del andre kjemiske parametere (pH og ledningsevne) for å se hvordan grunnvann kan påvirke kulturlaget.

## 1.2 Beskrivelse bevaringsforhold

Bevaringsforhold er beskrevet etter de nevnte to sett med grunnleggende miljøparametere (S1 og S2, Norsk Standard 9451:2009). Gode bevaringsforhold for kulturlag karakteriseres av stabile kjemiske og fysiske forhold. Dette fører til at naturlige gradienter (f.eks. hydrauliske gradienter eller konsentrasjonsgradienter), som ofte holder naturlige kjemiske prosesser i gang, avtar. Dette medfører langsommere nedbrytning av kulturlag og mindre mikrobielaktivitet.

I naturen foregår nedbrytning av organisk materiale og korrosjon av metaller parallelt med andre prosesser. Mikroorganismer får energi fra slike reaksjoner. Avhengig av redoksforhold i jordtypen vil forskjellige type mikrobielle reaksjoner dominere. Dette vises i Figur 1.



Figur 1. Oppsummering av redoksforhold for mikrobiologiske prosesser. Stabile negative redoks-forhold (anoksisk forhold) gir de beste bevaringsforhold for kulturlag (Madigan og Martinko, 2006).

Selv om redoks i jordtypen kan indikere at jernreduksjon dominerer, vil også andre prosesser som f.eks. sulfatreduksjon og dannelse av metallsulfider forekomme. Ved lavere redoksforhold, vil

karbon-nedbrytning foregå langsommere. Så lenge det ikke er inntrenging av fritt oksygen, vil også korrosjon av metallgjenstander foregå langsommere.

En typisk teskje jord kan inneholde bakterier i størrelsesorden  $10^9$ . Bakterietypene varierer voldsomt mellom hvor jorden kommer fra, dybden av prøven osv. Aktivitet, og kjemisk/fysisk fingeravtrykk av jordtypen vil bestemme hvilke typer bakterier som blir dominerende i jorden og dermed hvilke prosesser som dominerer. Noen bakterier kan redusere både nitrat og sulfat, og prosessen som dominerer bestemmes av hvor mye næringsstoff som er til stede (f. eks. sulfat / nitrat).

Grunnvannskilden og grunnvannskjemi er derfor meget viktig i påvirkning av prosessene som foregår i kulturlag.

I naturen kan det observeres at aerobe forhold med oksygen til stede, går over til nitratreduserende forhold når alt oksygen er brukt opp dersom det er nitrat tilgjengelig. Deretter følger mangan-, jern- og sulfatreduserende forhold, før metanogene forhold – så lenge de nødvendige næringsstoffene er til stede.

Under metanogene forhold observeres langsom nedbrytning av organisk materiale, og mindre korrosjon av metallgjenstander. Korrosjon under slike forhold forårsakes av sulfid-dannelse og oksidasjon av jern og mangan til de respektive metallsulfider.

Nedbrytning av organiske gjenstander blir lavere dersom redokspotensiale blir mer negativt. Hastigheten av den organiske nedbrytningen vil som oftest avta i rekkefølge nitrat-, mangan-, jern-, sulfatreduserende til metanogene forhold.

Oksidative og nitratreduserende forhold kan som regel karakteriseres som dårlige bevaringsforhold, mens sulfatreduserende og metanogene forhold kjennetegner bra til utmerket bevaringsforhold. Imidlertid må stedsspesifikke forhold tas i betraktning. Redoksforhold mellom de forskjellige mikrobielle prosesser vises i Figur 1 (Madigan og Martinko, 2006).

Tabell 2 viser en enkel oversikt over hvordan kulturlagene vurderes på bevaringsforhold. Dette er gjort som en vurdering av parametere beskrevet i NS 9451:2009. I flere tilfeller vil man få grenseoverganger. I det røde markerte området vises nivåer av målte kjemiske parameter for typisk oksiderende forhold, mens reduserende forhold er vist med grønt.

Redoksforhold i grunnen kan karakteriseres ved å måle redokssensitive komponenter i jord og porevann (oksygen, nitrat, ammonium, mangan (II), mangan (IV), jern (III), jern (II), sulfat, sulfid, metan). Høye oksygenkonsentrasjoner indikerer for eksempel at forholdene er oksidative og at mikroorganismene bruker oksygen til å bryte ned organisk materiale. Tabellen illustrerer også omtrentlige redoksverdier benyttet i overvåking av grunnvannet som beveger seg igjennom kulturlagene.

Tabell 2. Relative konsentrasjoner av dominerende næringsstoffer i jordtypen under forskjellige redoksforhold og bevaringsgrad i kulturlag.

Relativ konsentrasjon					Dominerende prosess	Redoks (mv)	Bevaringsgrad
NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	S <sup>2-</sup>	Fe (II)	Fe (III)			
Lav	Lav	Lav	Lav	Høy	Oksidasjon	200	Elendig
Høy	Lav	Lav	Lav	Høy	Nitratreduksjon / Oksidasjon	100	Dårlig
Høy	Lav	Lav	Høy	Lav	Nitratreduksjon / Jernreduksjon	0	Middels
Lav	Lav	Lav	Høy	Lav	Jernreduksjon	-100	Middels
Høy	Høy	Høy	Middels	Lav	Nitratreduksjon / Sulfatreduksjon	-200	Bra
Lav	Høy	Høy	Middels	Lav	Sulfatreduksjon	-270	Bra
Lav	Høy	Høy	Høy	Lav	Sulfatreduksjon / Metanogenese	-400	Utmerket

Som avslutningsprosesser for miljøprofiler dekkes det utgravde området med leire som ikke er av marin opprinnelse. Ved å begrense tilgang til næringsstoffer som kan være tilfelle ved å bruke marin blåleire (sulfat, fosfat, og bundet karbon) gjør denne prosessen kulturlaget tettere mot inntrengende oksygen. Samtidig reduseres muligheten for utlekking av salter (f. eks. sulfat) som ville kunne øke nedbrytning av jernstrukturer ved økt dannelse av jernsulfid.

## 2 Teknisk Installasjonsbeskrivelse (Cautus)

### 2.1 Utstyr og sensorer

Datalogger, modem og batteri ble installert i måleskap med dimensjoner 50 cm x 50 cm x 20 cm i perioden 19.-21. juni 2019. Kabler fra vanninnhold- og oksygensensorer ble ført direkte inn i loggerskap, mens signalet fra pH- og redokssensorer ble sendt via en koblingsenhet, plassert i en vanntett koblingsboks. Systemet er batteridrevet, men er koblet til en lader for fast strømforsyning for å unngå batteribytting. Alt av utstyr ble også testet og kalibrert, i forkant av installasjonen.

Tabell 1 og Tabell 2 oppsummerer de ulike sensorene som har blitt benyttet i miljøprofilene ved Erling Skakkes gate 3-5. Figur 2 viser sensorene brukt i profilene.

Tabell 3. Sensoroversikt skap 1/miljøprofil 3

Sensor	Serienr.	SDI-12 adresse	Navn	Lag nr.	Navn Cautus Web		
					Gammelt	Nytt	
4611	1126	2					
GA801-K050-F	1817491	-	pH 1-2	2	Skap1-pH 1-2	pH - Sjakt 3 lag 2	
GA801-K050-F	1817490	-	pH 3-4	9	Skap1-pH 3-4	pH - Sjakt 3 lag 9	
GA801-K050-F	1817492	-	pH 5-6	13	Skap1-pH 5-6	pH - Sjakt 3 lag 13	
	-	-	Redox 7-8	2	Skap1-Redox 7-8	Redox - Sjakt 3 lag 2	
	-	-	Redox 9-10	9	Skap1-Redox 9-10	Redox - Sjakt 3 lag 9	
	-	-	Redox 11-12	13	Skap1-Redox 11-12	Redox - Sjakt 3 lag 13	
	-	-	Redox 13-14	14	Skap1-Redox 13-14	Redox - Sjakt 3 lag 14	
SO-411	1258	3	Oksygen 1 (P3)	2	Skap1-Oksygen 1 (P3)	Oksygen - Sjakt 3 lag 2	
SO-411	1259	4	Oksygen 2 (P4)	13	Skap1-Oksygen 2 (P4)	Oksygen - Sjakt 3 lag 13	
CS655	30673	5	Vanninnhold 1 (P5)	2	Skap1-Vanninnhold 1 (P5)	Vanninnhold - Sjakt 3 lag 2	Konduktivitet - Sjakt 3 lag 2
CS655	35186	6	Vanninnhold 2 (P6)	9	Skap1-Vanninnhold 2 (P6)	Vanninnhold - Sjakt 3 lag 9	Konduktivitet - Sjakt 3 lag 9
CS655	35187	7	Vanninnhold 3 (P7)	13	Skap1-Vanninnhold 3 (P7)	Vanninnhold - Sjakt 3 lag 13	Konduktivitet - Sjakt 3 lag 13
CS655	35188	8	Vanninnhold 4 (P8)	14	Skap1-Vanninnhold 4 (P8)	Vanninnhold - Sjakt 3 lag 14	Konduktivitet - Sjakt 3 lag 14

Tabell 4. Sensoroversikt skap 2/miljøprofil 2

Sensor	Serie nr.	SDI-12 adresse	Navn	Lag nr.	Navn Cautus Web		
					Gammelt	Nytt	
4611	1114	2					
GA801-K050-F	1817493	-	pH 1-2	3	Skap2-pH 1-2	pH - Sjakt 2 lag 3	
GA801-K050-F	1817494	-	pH 3-4	8	Skap2-pH 3-4	pH - Sjakt 2 lag 8	
GA801-K050-F	1817495	-	pH 5-6	19	Skap2-pH 5-6	pH - Sjakt 2 lag 19	
	-	-	Redox 7-8	8	Skap2-Redox 7-8	Redox - Sjakt 2 lag 8	
	-	-	Redox 9-10	12	Skap2-Redox 9-10	Redox - Sjakt 2 lag 12	
	-	-	Redox 11-12	18	Skap2-Redox 11-12	Redox - Sjakt 2 lag 18	
	-	-	Redox 13-14	19	Skap2-Redox 13-14	Redox - Sjakt 2 lag 19	
SO-411	1260	3	Oksygen 1 (P3)	3	Skap2-Oksygen 1 (P3)	Oksygen - Sjakt 2 lag 3	
SO-411	1261	4	Oksygen 2 (P4)	13	Skap2-Oksygen 2 (P4)	Oksygen - Sjakt 2 lag 13	
CS655	35189	5	Vanninnhold 1 (P5)	3	Skap2-Vanninnhold 1 (P5)	Vanninnhold - Sjakt 2 lag 3	Konduktivitet - Sjakt 2 lag 3
CS655	35190	6	Vanninnhold 2 (P6)	8	Skap2-Vanninnhold 2 (P6)	Vanninnhold - Sjakt 2 lag 8	Konduktivitet - Sjakt 2 lag 8
CS655	35900	7	Vanninnhold 3 (P7)	13	Skap2-Vanninnhold 3 (P7)	Vanninnhold - Sjakt 2 lag 13	Konduktivitet - Sjakt 2 lag 13
CS655	35901	8	Vanninnhold 4 (P8)	19	Skap2-Vanninnhold 4 (P8)	Vanninnhold - Sjakt 2 lag 19	Konduktivitet - Sjakt 2 lag 19



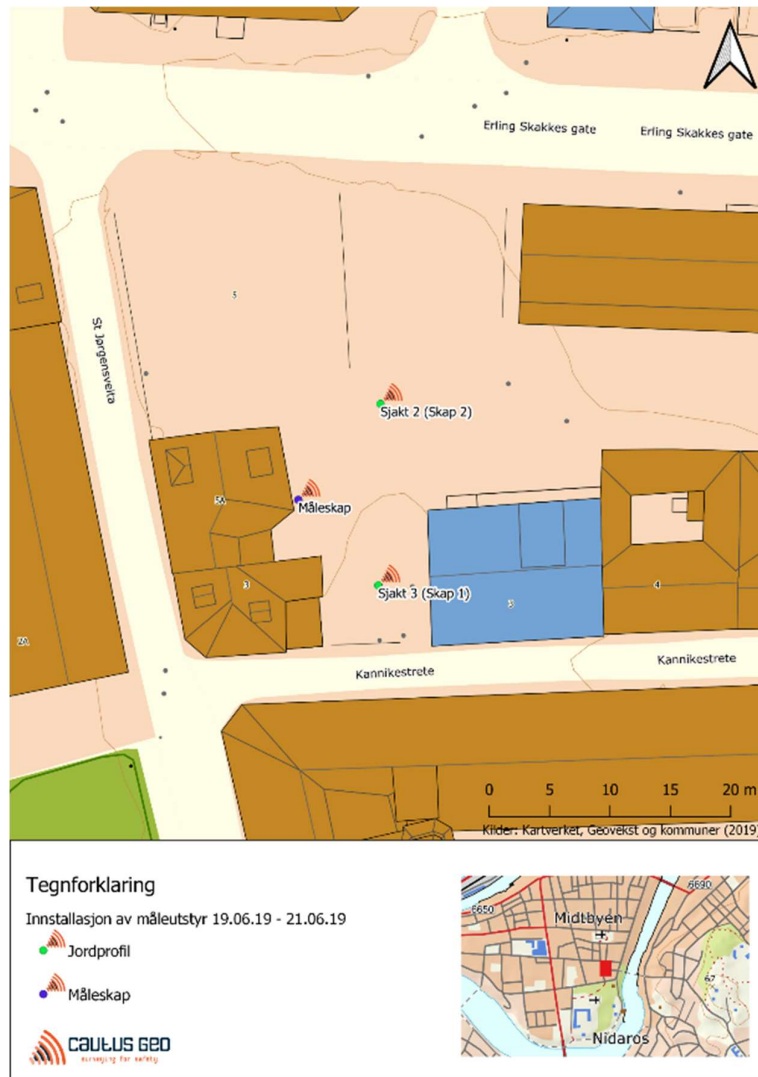
Figur 2. Sensorene brukt i miljøprofilene i Erling Skakkes gate.

### 2.1.1 Plassering

To dype sjakter ble maskingravd på tomta (sjakt 2 og sjakt 3). Disse inneholdt de to vertikale jordprofilene med stratifiserte kulturlag der sensorene ble montert. Profilene heter henholdsvis miljøprofil 2 (i sjakt 2) og miljøprofil 3 (i sjakt 3). Figur 3 viser plassering av miljøprofilene og måleskapene på tomta, med sjakt 3/miljøprofil 3 i forgrunn og sjakt 2/miljøprofil 2 i bakgrunnen. Figur 4 viser et oversiktskart over sjaktenes/miljøprofilenes beliggenhet på tomta samt måleskapenes plassering på vegg tilhørende eiendommen St. Jørgensveita 5A.



Figur 3. Plasseringer for miljøprofiler, Erling Skakkes gate.



Figur 4. Oversiktskart som viser plassering av måleskap og jordprofiler.

## 2.2 Feltarbeid 19. – 21. juni 2019

Feltarbeidet ble innledet med en omvisning av lokaliteten av NIKUs representant Chris McLees. Det ble også anvist hvor og i hvilke kulturlag sensorene skulle plasseres. Ansvarlig entreprenør for graving var B.N. Entreprenør.

### 2.2.1 Montering av kummer

Etter omvisningen ble kummer for koblingsboksene til pH- og redokksensorer plassert i bakken. Det ble trukket et rør fra miljøprofil 2 til kummen og et annet rør fra kummen til husveggen der loggerskapene skulle plasseres. Dette ble gjennomført for begge miljøprofiler.



Figur 5: Montering av kum og trekking av rør ved miljøprofil 2

### 2.2.2 Plassering av sensorer

Målesensorer ble plassert i utvalgte kulturlag i begge miljøprofilene etter NIKUs anbefaling. Referansesonden for pH- og redokssensorer ble plassert i kum ved begge profilene. Figur 6, Figur 7: Miljøprofil 3 (skap 1) og Figur 8: Miljøprofil 2 (skap 2) viser bilder av hvordan sensorene er plassert i jorden og plasseringen til alle de ulike sensortypene. Ringene på bildene representerer til ulike sensortypene.



Figur 6. Nærbilde av vanninnhold-, pH- og redokssensor





Figur 7: Miljøprofil 3 (skap 1)



Figur 8: Miljøprofil 2 (skap 2)

### 2.2.3 Montering av måleskap og oppkobling av sensorer

Måleskap ble hengt opp på husveggen av St. Jørgensveita 5A. Fra kjelleren av bygget ble det trukket opp en strømledning av elektriker for å forsyne skapene med strøm. Sensorkabler ble koblet til skapene og testet før tildekking med leire.



Figur 9. Koblingsboks i kum ved miljøprofil 3.



Figur 10. Ferdig montert kum. Øverst i bildet: Koblingsboks plassert i kum. Midten: trekkerør for sensorer. Under: Referansesonde for pH- og redokksensorer.



Figur 11. Ferdig montert skap, sett fra innsiden.



Figur 12. Ferdig monterte skap

#### 2.2.4 Tildekking med leire

Jordprofilene ble dekket med leire, en ikke-marin type fra Røros.



a)  
b)  
Figur 13. Komplettering og tildekking med leire av miljøprofil 1.

### 2.2.5 Feltlogg

Feltloggen inneholder notater fra installasjonen med tidspunkter for de ulike oppgavene.

Tabell 5. Feltlogg

Dato og klokkeslett	Beskrivelse
<b>Onsdag 19. juni 2019</b>	
09:00	Oppmøte Erling Skakkes gate
09:00-12:00	Montering loggerskap, føring strøm til loggerskap, entreprenør ankommer
15:00	Kum på Sjakt 2 ferdig montert, trekkerør lagt til loggerskap, Sjakt 2 sensorplasseringer avklart

Dato og klokkeslett	Beskrivelse
16:00	Ferdig med kabelskjøting sensorer til Sjakt 2
16:30	Slutt for dagen
<b>Torsdag 20. juni 2019</b>	
08:00	Oppmøte Erling Skakkes gate
10:30	Ferdig med installasjon av sensorer i profil Sjakt 2
12:30	Sensorer koblet til loggerskap, leire levert
13:00-15:00	Tildekking sensorer med leire Sjakt 2
16:00	Sjakt 3 sensorplasseringer avklart
17:30	Ferdig med installasjon av sensorer i profil Sjakt 3
19:30	Ferdig med kabelskjøting og tilkobling sensorer til loggerskap
20:30	Profil dekket med presenning, slutt for dagen
<b>Fredag 21. juni 2019</b>	
07:30	Oppmøte Erling Skakkes gate
07:45	Start tildekking sensorer med leire Sjakt 3
10:30	Ferdig tildekking, avreise

### 2.3 Feilsøking 13.08.19

Etter en gjennomgang av måledata i etterkant av installasjonen ble det mistanke om feil i pH- og redoksmålingene ved skap 2. Det var en del støy i pH-målingene, og de tre nederste redokssensorene målte i nærheten av null-verdier. Det var mistenkt å være dårlig kontakt mellom referanseelektroden og jorden.

En runde feilsøking ble utført den 13.8.19 for å forsøke å bekrefte problemet og ta tiltak for å rette det. Referanseelektroden ble dratt opp og sjekket med nye pH- og redokssensorer. Alle portene på koblingsboksen ble sjekket ved å teste sensorene i ulike standarder (f.eks. 200 mV redoksstandard og 4, 7 og 10 pH buffere), og alt ble bekreftet å fungere som det skulle.

Referanseelektrodens saltbro som skaper kontakt mellom elektroden og jorden ble påfylt med elektrolytt og presset ned flere ganger med referanseelektroden. Til slutt ble referanseelektroden montert på plass i saltbroa.

Etter dette tiltaket har det vært en vesentlig stabilisering i dataene fra alle pH-sensorer, samt noe utslag i redoksdataene.

## 3 Geokjemiske analyseresultater

### 3.1 Beskrivelse av prøvene fra kulturlagene og bevaringsvurdering

En beskrivelse av prøvene, og innmålingsdata inklusiv kote (moh) vises i Tabell 6. Prøvenavn representeres ved miljøprofilnummer og kulturlagnummer hvor prøven er tatt fra, f.eks. 2-3 (miljøprofil 2, kulturlag 3).

Prøvene ble tatt under utplassering av sensorene i miljøprofilen i perioden 19. til 21. juni 2019. Prøvene ble oppbevart anaerobt og sendt til Eurofins for analyser av S1- og S2-parametere. Prøvetaking ble gjennomført av NIKU.

Tabell 6. Beskrivelsen av kjerneprøver med tilhørende kote nivå (moh).

Profil	Lag	Prøvenavn (Profil-Lag)	Installasjonsnummer	Koordinater		Kote (moh)
				N	Ø	
2	3	2-3	1PM3993	7034114.4737	569800.8776	9.7456
2	8	2-8	1PM3994	7034114.3550	569800.8121	9.5358
2	12	2-12	1PM3995	7034114.2967	569800.6388	9.0520
2	13	2-13	1PM3996	7034114.2925	569800.5960	8.6757
2	14	2-14	1PM3998	7034114.1205	569800.5892	8.5421
2	18	2-18	1PM3999	7034114.1658	569800.5727	8.2814
2	19	2-19	1PM4001	7034114.4261	569800.5551	8.1365
3	2	3-2	1PM4004	7034097.6378	569799.3391	9.8307
3	9	3-9	1PM4005	7034097.5154	569799.5179	9.0638
3	13	3-13	1PM4006	7034097.2953	569799.3022	8.6755
3	14	3-14	1PM4007	7034096.7254	569798.3197	8.0814

### 3.2 Analyseresultater jordprøver

Tabell 7 viser analyseresultatene for prøvene som ble tatt av miljøprofilene i juni 2019. Bevaring og en oppsummering av prøvene er beskrevet per miljøprofil videre i rapporten. Resultatene tolkes per miljøprofil.

Tabell 7. Analyseresultater fra kjerneprøvene. Sikting er gjennomført på fuktige prøver, og konsentrasjoner oppgis per kg tørrvekt.

Prøve	Kote (moh)	pH	Konduktivitet	Tot-Jern (mg/kg)	Jern (Fe2+) (mg/kg)	Sulfat (mg/kg)	Sulfid (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	NH <sub>4</sub> -N (mg/kg)	<5mm sikting (%)	TS (%)	Glødetap (% TS)
2-3	9.7456	7,1	8,2	18000	<1	59	29	20	4,8	100	74,6	8,2
2-8	9.5358	6,7	13	14000	<1	220	16	76	2,9	100	39,6	41,9
2-12	9.0520	7,3	17	9800	<1	440	90	52	3,6	100	37,4	49,5
2-13	8.6757	7,0	22	7900	3	1700	360	3,5	43	100	25,8	73,9
2-14	8.5421	7,1	21	12000	<1	1200	370	<0,29	25	100	35,0	50,4
2-18	8.2814	7,8	11	20000	2	190	350	<0,16	14	100	60,3	13,1
2-19	8.1365	7,3	12	5000	<1	350	130	<0,51	55	100	20,2	78,7
3-2	9.8307	7,7	5,8	15000	<1	6,8	11	2,6	1,7	92	85,3	3,4
3-9	9.0638	6,8	2,9	18000	<1	17	9,9	11	3,4	92	73,3	5,0
3-13	8.6755	6,6	4,5	8800	3	41	46	2,5	2,5	100	53,6	17,0
3-14	8.0814	6,8	3,3	19000	4	16	48	0,62	2,6	100	44,5	22,5

## 4 Vurdering av resultatene pr. 9. september 2019

Resultatene er vurdert etter innhold. I vedlegg 1 er det gitt de innledende onlinemålinger fra start av prosjektet da sensorene ble installert i juni 2019 og til 9. september 2019.

### 4.1 Miljøprofil 2

pH-verdiene i prøvene fra Miljøprofil 2 var ganske nøytrale gjennom hele profilen. Konduktiviteten var også lav i alle prøvene. Det var mye jern observert i prøvene, men det var bare spor av  $\text{Fe}^{2+}$  i 2 av prøvene fra henholdsvis lag 13 og 18. Dette indikerer at mesteparten av jernet i prøvene er bundet enten som mineraljern, sulfider eller 3-verdige oksider. Sulfatinnholdet varierte gjennom laget. Sulfatkonsentrasjonene var lavest i lag 3. Lag 8, 12, 18 og 19 viste høyere sulfatkonsentrasjoner på 190 til 440 mg/kg, mens lag 13 og 14 viste betydelig høyere sulfatinnhold på henholdsvis 1700 og 1200 mg/kg.

Nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ble observert fra lag 3 til lag 12 på konsentrasjoner som vil kunne ha negativ påvirkning på sulfatreduksjonen av sulfatreduserende bakterier gjennom laget (20 til 52 mg/kg). Sulfidkonsentrasjonene varierte fra 16 (lag 3) til 370 mg/kg (lag 14). De lavere sulfidkonsentrasjonene i lag 3, 8 og 12 (henholdsvis 29, 16 og 90 mg/kg) kan indikere at enten aktiviteten av sulfatreduserende bakterier (SRB) ikke er stabil grunnet tilgang av oksygenert sigevann/nedbør i de høyere kulturlagene, eller at tilgjengelig nitrat forhindrer sulfatreduksjon i SRB. Forhindring av sulfid-dannelse gjennom tilsetning av nitrat har vært kjent over lengre tid bl.a. ifm. nitrat-dosering til både oljereservoarer og avløpssystemer. Typiske nitrat-N konsentrasjoner som må brukes er omkring 15 til 20 mg/l. Konsentrasjonene som er observert i miljøprofil 2 er over dette konsentrasjonsområdet.

De høyeste ammoniumkonsentrasjonene ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) fra de samme prøvene indikerer økt mikrobiell aktivitet som har gitt økt biomasse gjennom generering av ammonium. Denne mikrobielle prosessen (nitratreduksjon til ammonium) er også kjent for å ha en negativ påvirkning i sulfiddannelse grunnet konkurransen mellom sulfat og nitrat i SRB.

Selv om sulfidkonsentrasjonene er noe varierende, viser konsentrasjonene i kulturlagene negativt redokspotensial i alle lagene. Mulig innsig av oksygenert vann gjennom deler av lagene, kan ha negativ påvirkning på bevaring av metallgjenstander. Økt nitratkonsentrasjon i de øverste lagene kan også indikere at organiske strukturer kan brytes ned fortere. Dette gjelder særlig om nitratkonsentrasjonene i lagene er stabile og det mikrobiotomet utnytter nitratreduksjon til ammonium som vil føre til raskere utnyttelse av karbonkilder i kulturlagene.

Tørrstoffverdiene (TS) varierte gjennom hele profilen. Dette kan skyldes varierende innhold av sand i selve jordlagene i profilen eller spesifikke deler av kulturlagene, og viser varierende fuktighetsnivå gjennom profilen. Organisk innhold (som glødetap) varierte fra omkring 8% til 79% gjennom profilen.

## 4.2 Miljøprofil 3

Det er analysert prøver av 4 kulturlag fra miljøprofil 3. Kotehøydene på disse er fra 9,7 m til 8,0 m. Resultatene er helt annerledes enn de observerte resultatene fra kulturlagene fra omkring samme kote i miljøprofil 2.

Profilen viser nøytrale pH-verdier og veldig lav konduktivitet. Alle lagene har lave konsentrasjoner av sulfat,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  og forholdsvis lave sulfidkonsentrasjoner (9,9 til 48 mg/kg).

TS-verdiene varierte fra 85% til 44% fra høyeste til laveste kote, som kan indikere at lagene i profilen består av jordkorn som klarer ikke å holde på vann. Dette kan også indikeres fra glødetap som varierte fra 3,4% til 22% i prøvene og som illustrerer lite organiskinnhold i miljøprofilen.

## 5 Resultater fra onlinemålinger pr. 1. september 2020

I vedlegg 1 er det gitt de innledende onlinemålinger fra start av prosjektet da sensorene ble installert i juni 2019 og til 9. september 2019. Dette ble rapportert i 2019. Vedlegg 2 viser oppdaterte onlinemålinger fra de samme sensorene fra oppstart og til 1. september 2020. Det er ikke hentet ut nye jordprøver for kjemisk analyse, så eventuelle endringer av bevaringstilstand baseres kun på sensordata.

### 5.1 Miljøprofil 2

Sensordata for miljøprofil 2 er hentet fra skap 2. Sensordata for ledningsevne, viser at det skjedde en reduksjon fra september 2019 og utover vinteren for tre av sensorene. Disse har steget igjen utover sommeren 2020, men ikke tilbake til samme nivå som ved forrige rapportering. Sensoren i lag 13 viser tilsvarende trend, men ikke like tydelig. Ledningsevnen ligger i området 15-76  $\mu\text{S}/\text{cm}$  for alle fire sensorer pr 1. september 2020. pH sensorene har også vist relativt stabile forhold det siste året og alle ligger på svakt surt nivå, dvs. i området 5,7 - 7,0. Vanninnholdet i de ulike lagene har også holdt seg uendret.

Målingene av redokspotensial viser oksidative forhold i lagene der tre av sensorene viser nøyaktig de samme måleresultatene som varierer mellom 0 og 100-200 mV. Cautus vil undersøke om det kan være noe galt med sensoren, og ønsker å ta en tur opp til Trondheim for å undersøke nærmere.

Sensor "Redox sjakt 2 lag 8" ligger på ca 570 mV. Dette korresponderer med sensorene for oksygen, som begge viser tilstedeværelse av oksygen opp mot 14% metning. Det har ikke vært signifikante endringer siden rapporteringen i 2019.

### 5.2 Miljøprofil 3

Sensordata for miljøprofil 3 er hentet fra skap 1. Ledningsevnen viser tilsvarende trend som for miljøprofil 2, dvs. en synkende tendens utover vinteren og stigende igjen mot sommeren. Samtlige målinger er fremdeles lave, dvs. i området 10 - 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pr 1. september 2020. Sensorene for pH viser også stabile forhold og alle tre sensorene ligger på svakt surt nivå, dvs. 6,1 -6,9. Det kan



imidlertid se ut som at noe skjedde med sensorene 9. august. Da viser alle tre sensorene et hopp i pH og målingene etter denne datoen har også vært mer ustabile, dvs. hatt større utslag enn normalt.

Vanninnholdet i prøvene har holdt seg stabilt over hele måleperioden. Den grunneste sensoren viser lavest innhold på ca 30% metning, mens de tre dypere sensorene viser vanninnhold på 48 – 54 % metning pr 1. september 2020.

To av sensorene for redokspotensial ("redox sjakt 3 lag 2" og "redox sjakt 3 lag 9") viser oksidative forhold i lagene, dvs. ingen endring det siste året.

Sensor "redox sjakt 3 lag 13" viser en klar nedadgående trend noe som kan tyde på at forholdene endrer seg til mer reduktive forhold noe som kan være positivt mht. bevaringsforhold. Sensor "redox sjakt 3 lag 14" viser klart reduktive forhold, ca -360 mV, i området som tilsier at det bl.a. foregår reduksjon av sulfat til sulfid. Sensorene for redoks viste også en ustabilitet i målingene i tidsrommet 7.-9. august 2020, men har tilsynelatende ikke påvirket de etterfølgende målingene.

Oksygenmålingene viser tilsvarende trend som for redoksmålingene, dvs. sensor for sjakt 3 lag 13 (P4) viser anoksiske forhold, mens sensor for sjakt 3 lag 2 (P3) viser tilstedeværelse av oksygen tilsvarende 18-19 % metning. Målingene har vært stabile over perioden.

## 6 Bevaringsvurdering

### 6.1 Miljøprofil 2

De øverste tre jordprøvene som ble tatt i 2019, ble bedømt som dårlig bevaring for organisk materiale grunnet høye konsentrasjoner av tilgjengelig  $\text{NO}_3\text{-N}$  i lagene. Fra sulfidkonsentrasjonene kan man se at det muligens vil være noe varierende i forhold til redoksforholdene i de øverste to lagene. Resterende lag hadde høye sulfidkonsentrasjoner og lave nitratkonsentrasjoner som illustrerer at både organisk og uorganisk materiale burde bevares i bra til utmerket tilstand.

Sensormålingene siden rapporteringen i september 2019 og fram til september 2020 har ikke vist noen signifikant endring, og det kan antas at bevaringsforholdene er uendret.

### 6.2 Miljøprofil 3

Bevaringsvurdering i 2019 for miljøprofil 3 viste at organisk materiale hadde bra til utmerket bevaring mens uorganisk materiale blir dårlig bevart. Dette skyldes lave konsentrasjoner av næringsstoffer (nitrat  $\text{NO}_3\text{-N}$  og sulfat  $\text{SO}_4$ ), forholdsvis lavt organisk innhold i prøvene samt lavere sulfidkonsentrasjoner i prøvene fra profilen.

Sensormålingene siden rapporteringen i september 2019 og fram til september 2020 har stort sett vært uendret, men unntak av redoks-sensoren i sjakt 2 lag 18. Denne sensoren viser at redoks synker og nærmer seg -100 mV i begynnelsen av september 2020. Dette er positivt mht. bevaringsforholdene.

### 6.3 Oppsummering og evt. endring siste år









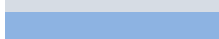
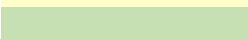

Plassering av sensorene er forenklet skissert i Tabell 8. Ved hjelp av fargekoder er det også gjort en vurdering om det har skjedd en endring av de arkeologiske forholdene i 2020 sammenlignet med 2019 ( Tabell 9). Grønn farge antyder en bedring av bevaringsforholdene, mens gult viser uendrede forhold. Ved en forverring ville det blir benyttet rødt.

**Tabell 8.** Forenklet skisse over plasseringen av sensoren i de ulike lagene i miljøprofil 3 og 3. Fargene indikerer om det har skjedd en endring siden rapporteringen i 2019. Grønn = forbedring, gul = uendret, rødt = forverring av bevaringsforholdene. Selve jordprøvene er ikke rangert da det ikke er tatt nye prøver.

Miljøprofil	Lag	Sensor				Jordprøver tatt i 2019
		Ledningsevne og vanninnhold	pH	Redoks	oksygen	
2 (Skap 2)	3	Vanninnhold - Sjakt 2 lag 3 Konduktivitet - Sjakt 2 lag 3	pH - Sjakt 2 lag 3		Oksygen - Sjakt 2 lag 3	2-3
	8	Vanninnhold - Sjakt 2 lag 8 Konduktivitet - Sjakt 2 lag 8	pH - Sjakt 2 lag 8	Redox - Sjakt 2 lag 8		2-8
	12			Redox - Sjakt 2 lag 12		2-12
	13	Vanninnhold - Sjakt 2 lag 13 Konduktivitet - Sjakt 2 lag 13			Oksygen - Sjakt 2 lag 13	2-13
	14					2-14
	18			Redox - Sjakt 2 lag 18		2-18
	19	Vanninnhold - Sjakt 2 lag 19 Konduktivitet - Sjakt 2 lag 19	pH - Sjakt 2 lag 19	Redox - Sjakt 2 lag 19		2-19
3 (Skap 1)	2	Vanninnhold - Sjakt 3 lag 2 Konduktivitet - Sjakt 3 lag 2	pH - Sjakt 3 lag 2	Redox - Sjakt 3 lag 2	Oksygen - Sjakt 3 lag 2	3-2
	9	Vanninnhold - Sjakt 3 lag 9 Konduktivitet - Sjakt 3 lag 9	pH - Sjakt 3 lag 9	Redox - Sjakt 3 lag 9		3-9
	13	Vanninnhold - Sjakt 3 lag 13 Konduktivitet - Sjakt 3 lag 13	pH - Sjakt 3 lag 13	Redox - Sjakt 3 lag 13	Oksygen - Sjakt 3 lag 13	3-13
	14	Vanninnhold - Sjakt 3 lag 14 Konduktivitet - Sjakt 3 lag 14		Redox - Sjakt 3 lag 14		3-14

Tabell 9. Bevaringsvurdering av prøvene fra kulturlagene. Dybden (m) er fra øvre delen av laget i boresøylen.

Status pr 9.9.2019											Status pr 1.9.2020
Prøve- navn	Kote (moh)	Organisk- innhold (%)	Vann- innhold (%)	Sulfid <sup>1)</sup> (mg/kg)	pH	Lednings- evne <sup>2)</sup> (µS/cm)	Bevaring				
							Organisk materiale	Uorganisk materiale	Redoks	Arkeologisk tilstand	
2-3	9.7456	8,2	25	29	7,1	82			Delvis	A2	Uendret
2-8	9.5358	41,9	60	16	6,7	130			Delvis	A3	Uendret
2-12	9.0520	49,5	63	90	7,3	170				A3	Uendret
2-13	8.6757	73,9	74	360	7,0	220				A4	Uendret
2-14	8.5421	50,4	65	370	7,1	210				A4	-
2-18	8.2814	13,1	40	350	7,8	110				A4	Bedring
2-19	8.1365	78,7	80	130	7,3	120				A5	Uendret
3-2	9.8307	3,4	15	11	7,7	58			Devis	A2	Uendret
3-9	9.0638	5,0	27	9,9	6,8	29			Delvis	A2	Uendret
3-13	8.6755	17,0	46	46	6,6	45			Delvis	A3	Uendret
3-14	8.0814	22,5	56	48	6,8	33			Delvis	A2	Uendret

	Lavt organisk innhold 10-20%		Dårlig
	Middels organisk innhold 30-40%		Middels
	Høyt organisk innhold >50%		Bra til utmerket
	Lavt vanninnhold 10-20%		Oksiderende
	Middels vanninnhold 30-40%		Reduserende
	Høyt vanninnhold > 50%		

SOPS : NS 9451:2009

1) Sulfid er lagt til tabellen for å lettere bedømme redoks tilstand i kulturlagene

2) Verdiene er regnet om fra mS/m til µS/cm, og er derfor endret fra rapporteringen i 2019

## 7 Konklusjon

Denne rapporten gir en oppsummering av den tekniske installasjon av sensorer i Erling Skakkes gate i Trondheim. Sensordata er vurdert pr. 1. september 2020 og sammenlignet med jordprøvene og sensordata fra 2019 for å vurdere om det har skjedd noen endringer av bevaringsforholdene. Resultatene viser stort sett uendrede forhold, men unntak av miljøprofil 2 lag 18. Redoksmålingene tyder på en bedring av bevaringsforholdene i dette laget.

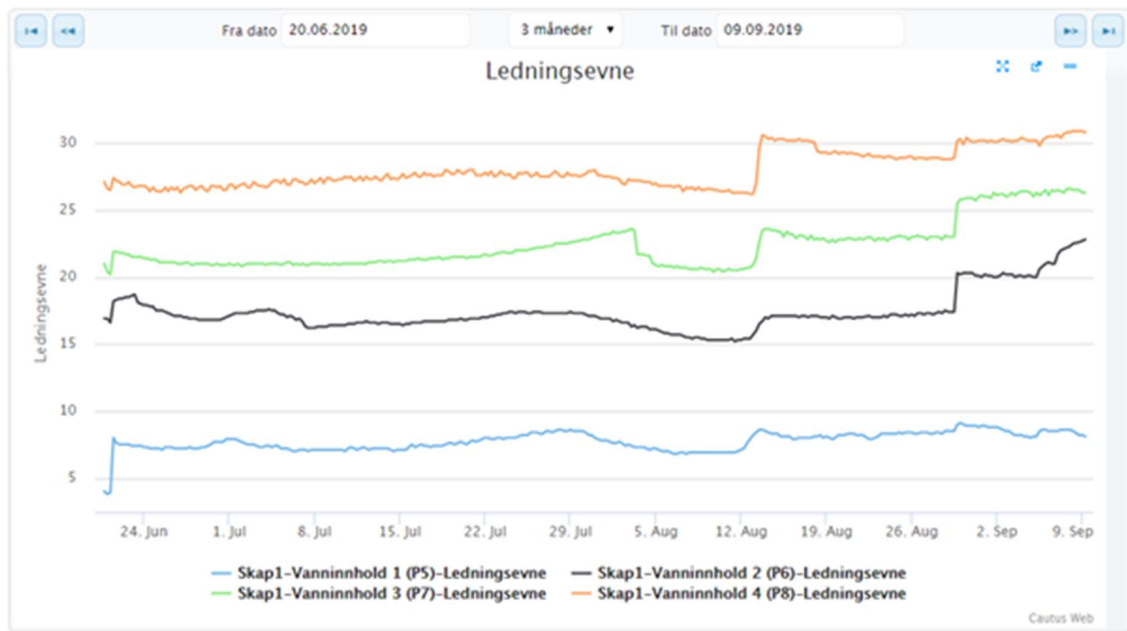
## 8 Referanser

Madigan, M. T. & Martinko J. M. Brock. (2006). **Biology of Microorganisms**. 11. Ed. Pearson Prentice Hall, USA.

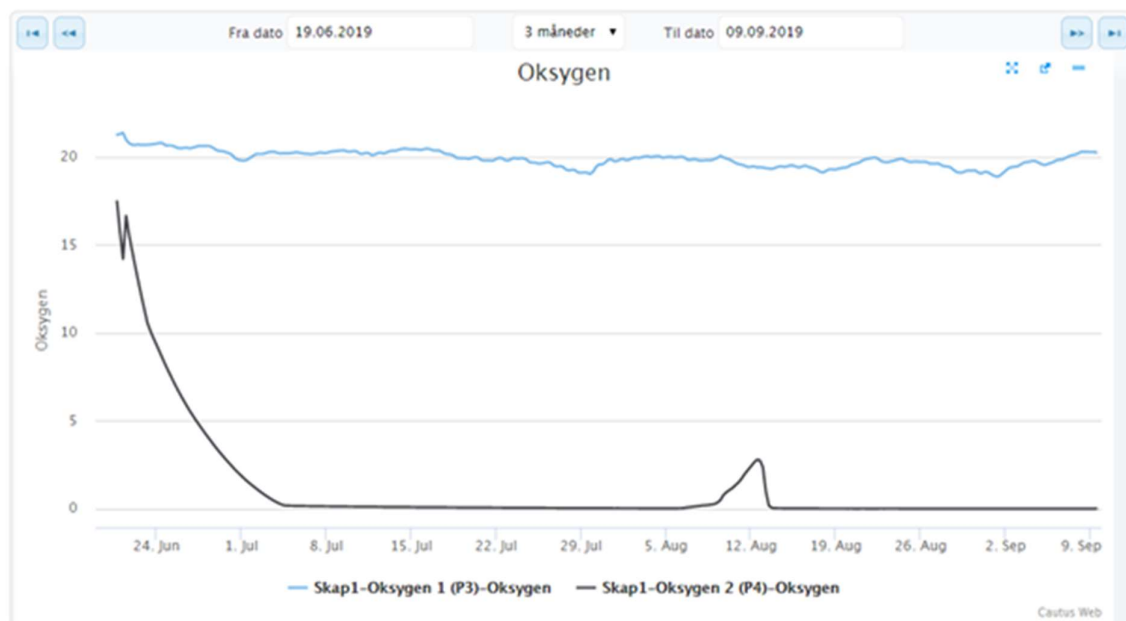
## VEDLEGG 1 Innledende sensordata

### Skap 1 - Miljøprofil 3

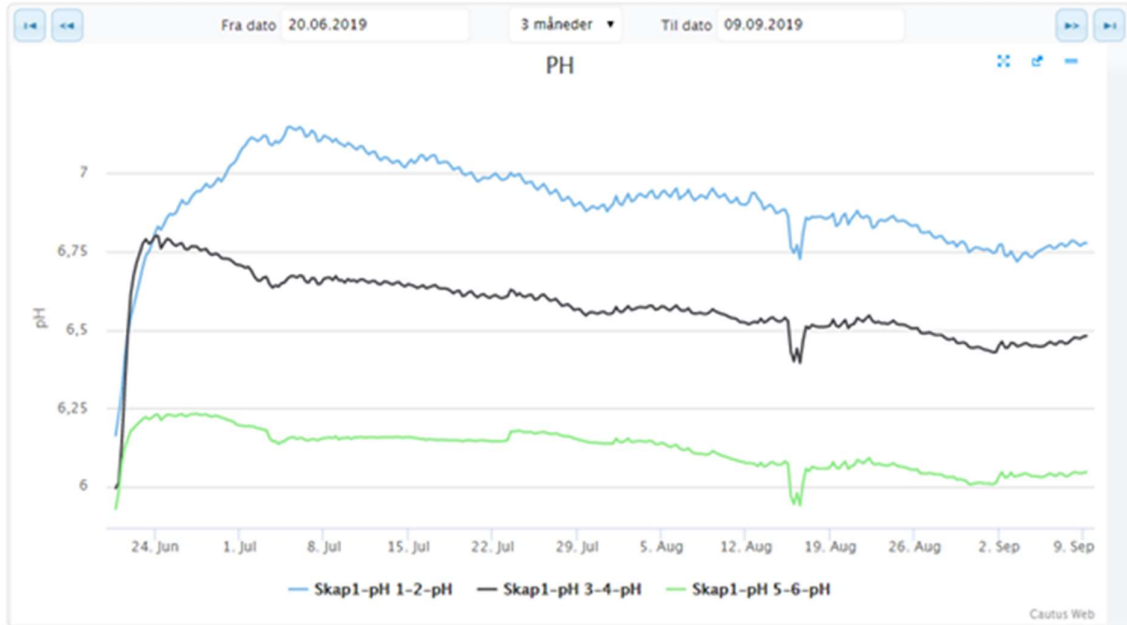
#### Ledningsevne



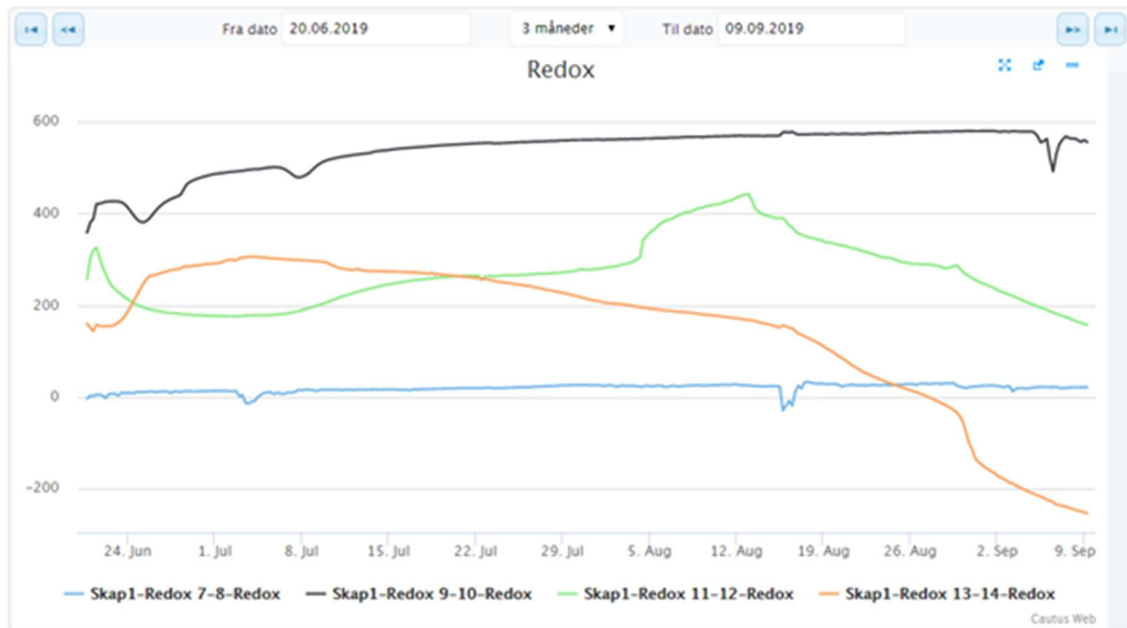
#### Oksygen



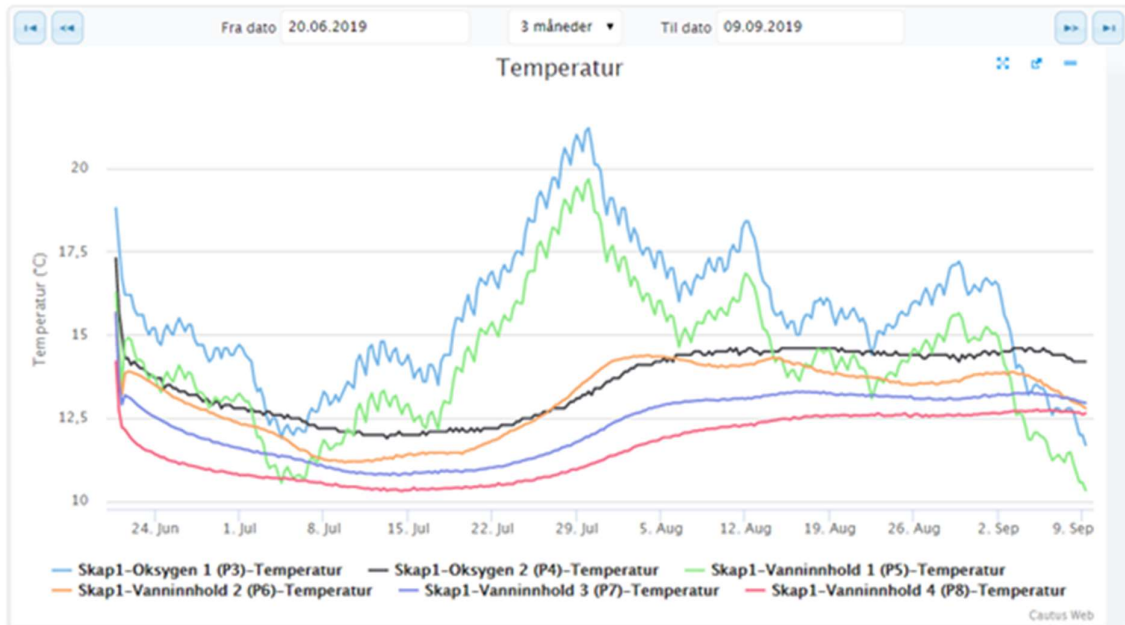
## pH



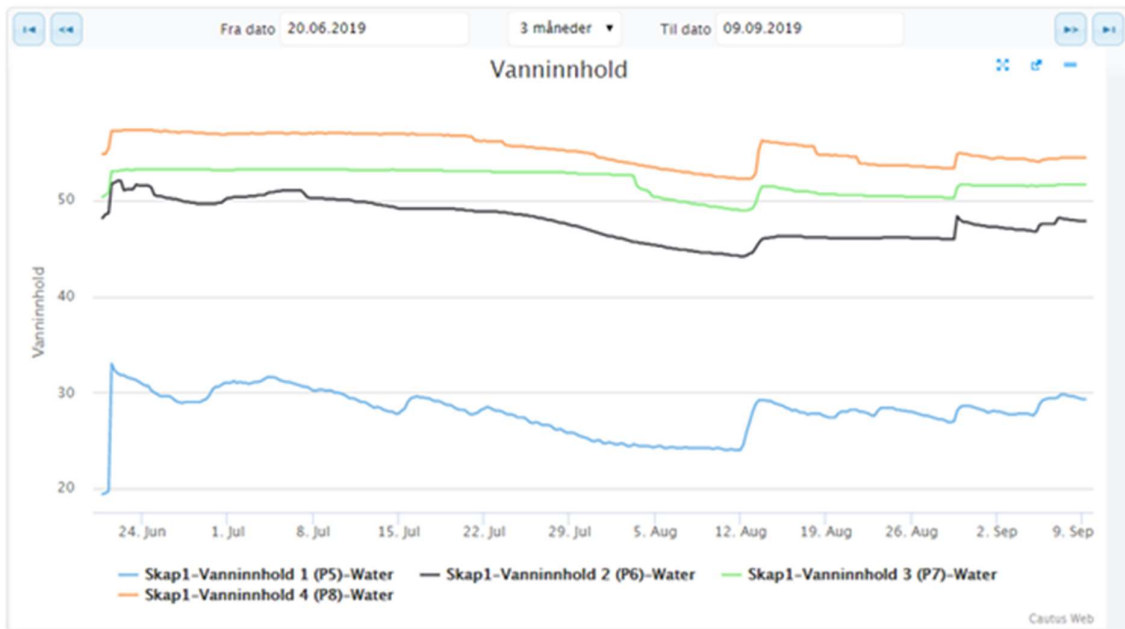
## Redox



## Temperatur

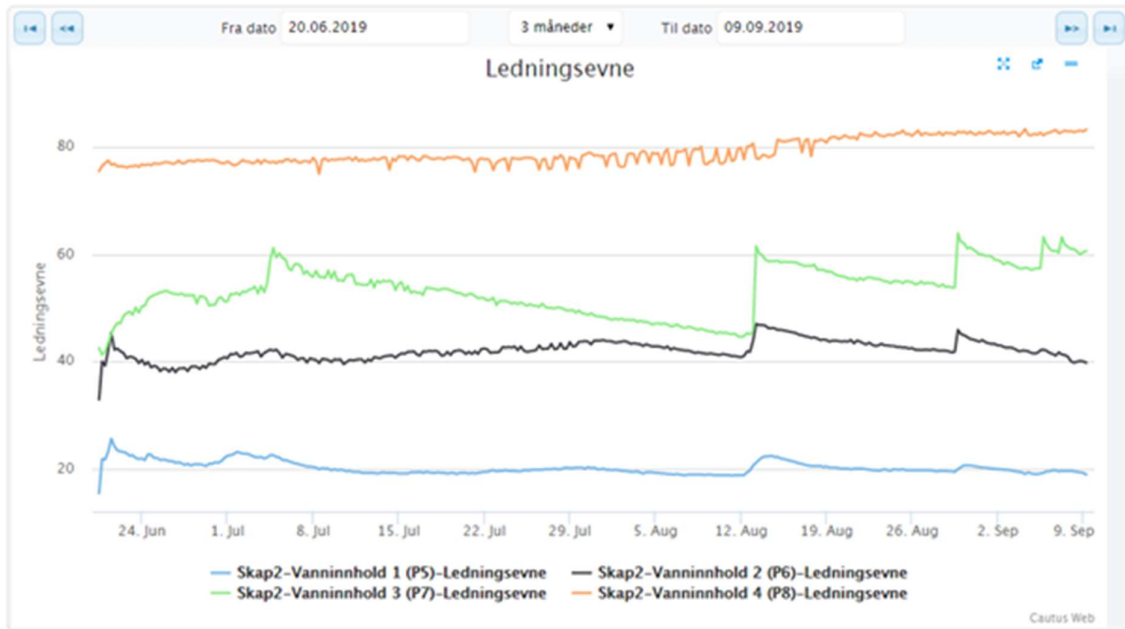


## Vanninnhold

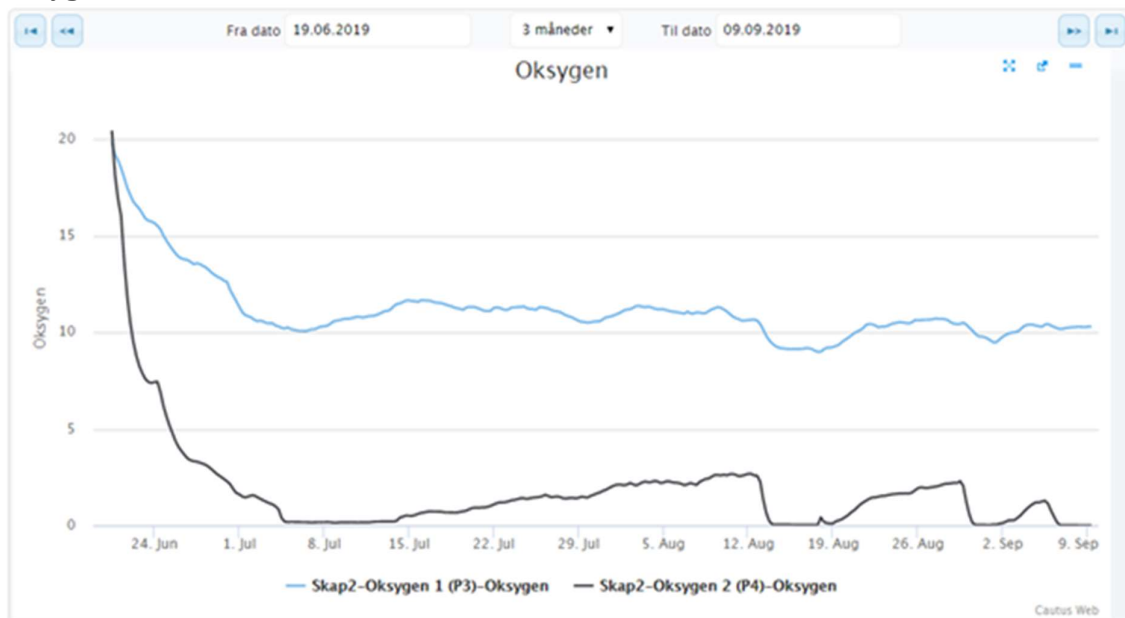


## Skap 2 - Miljøprofil 2

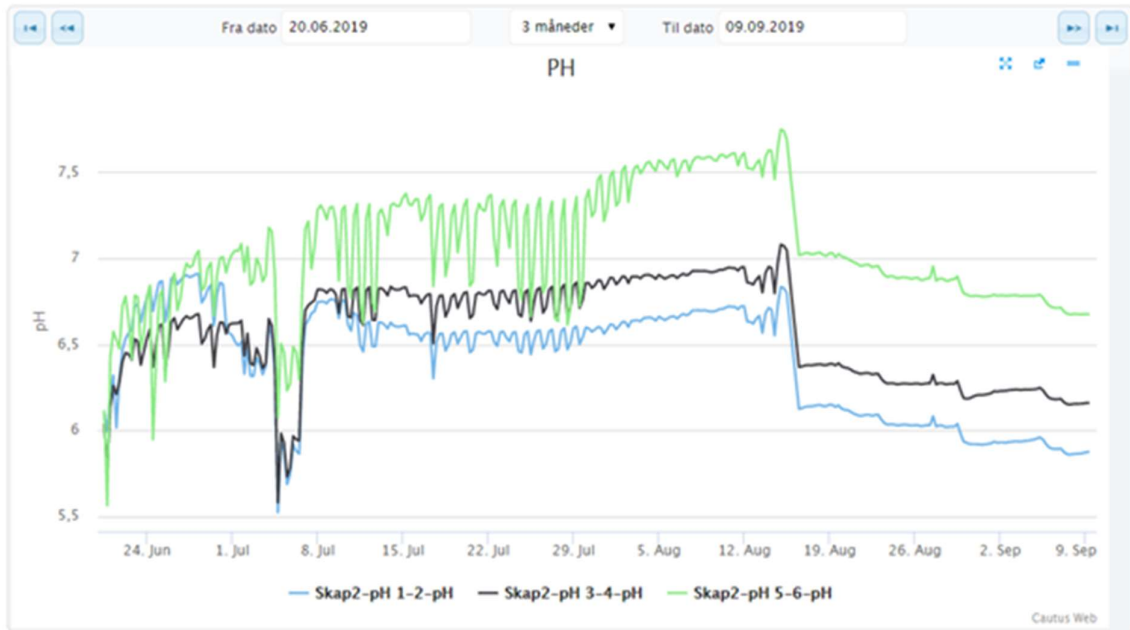
### Ledningsevne



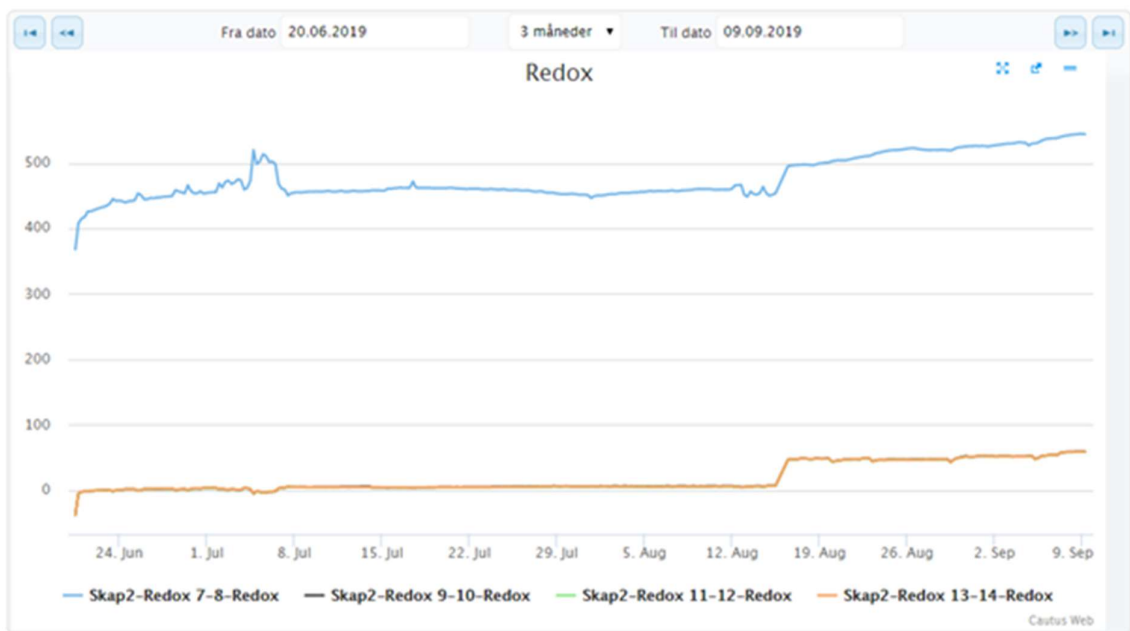
### Oksygen



## pH

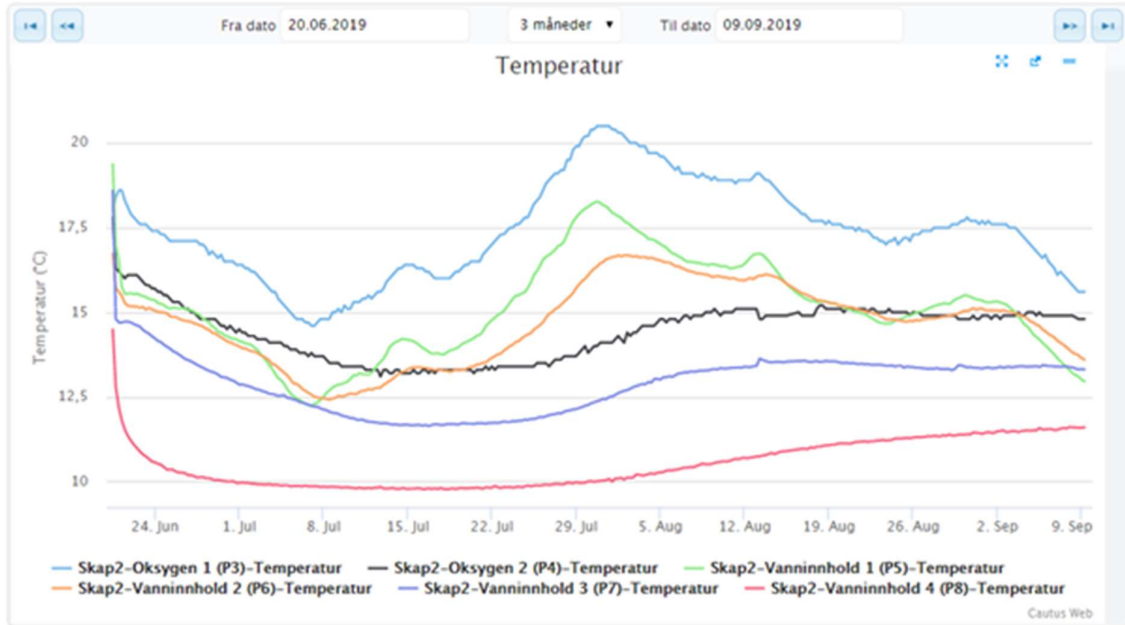


## Redox

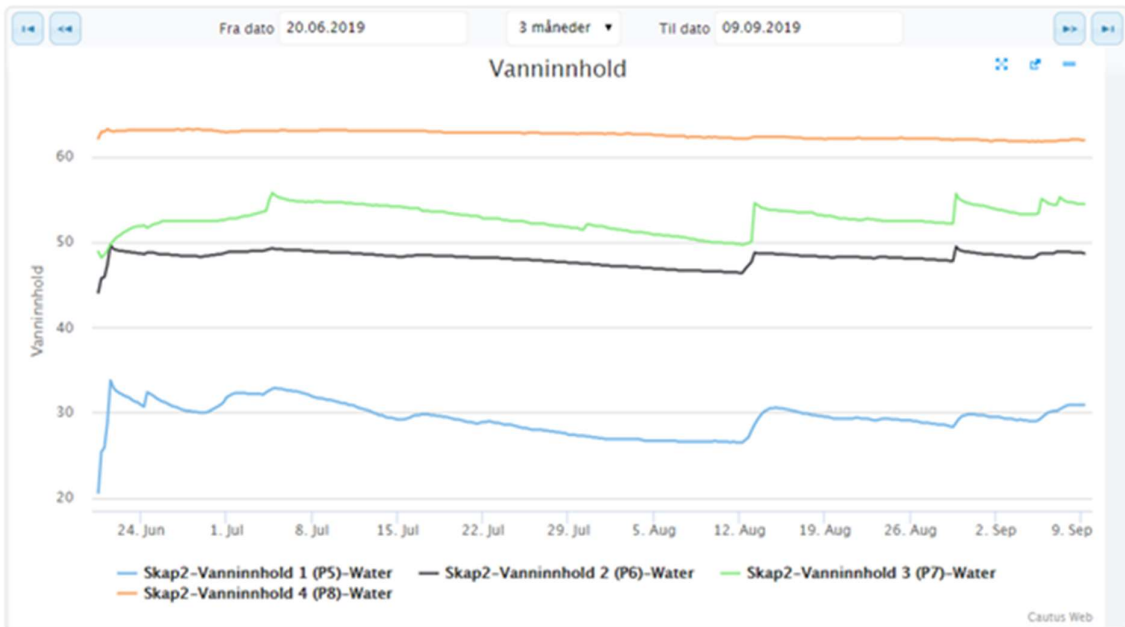




## Temperatur



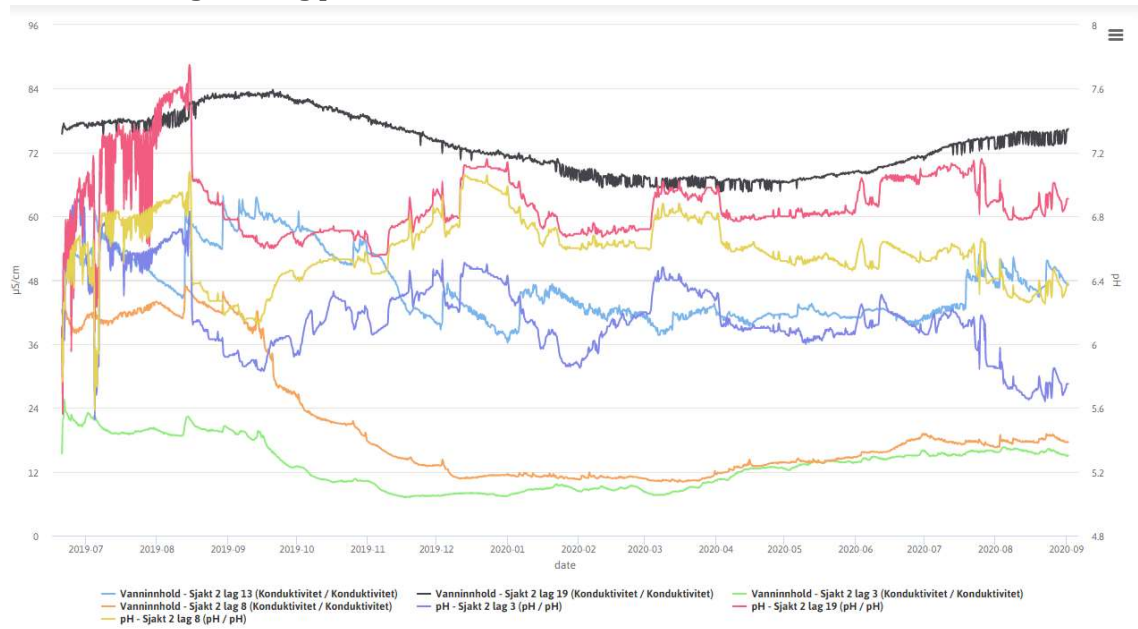
## Vanninnhold



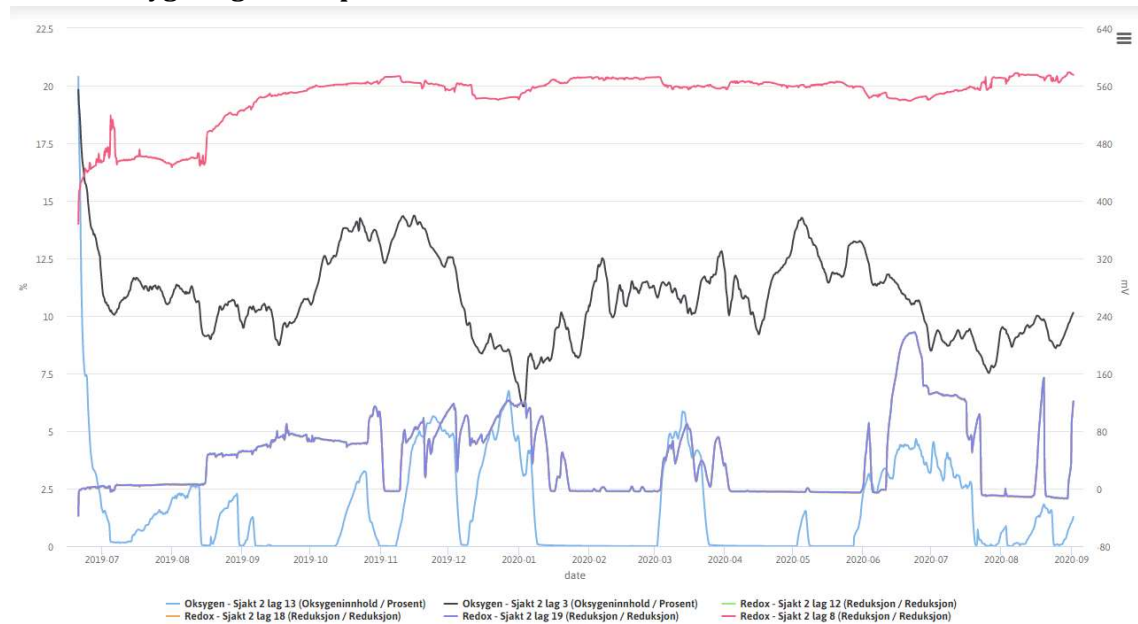
## VEDLEGG 2 Sensordata pr 1. september 2020

### Skap 1 - Miljøprofil 3

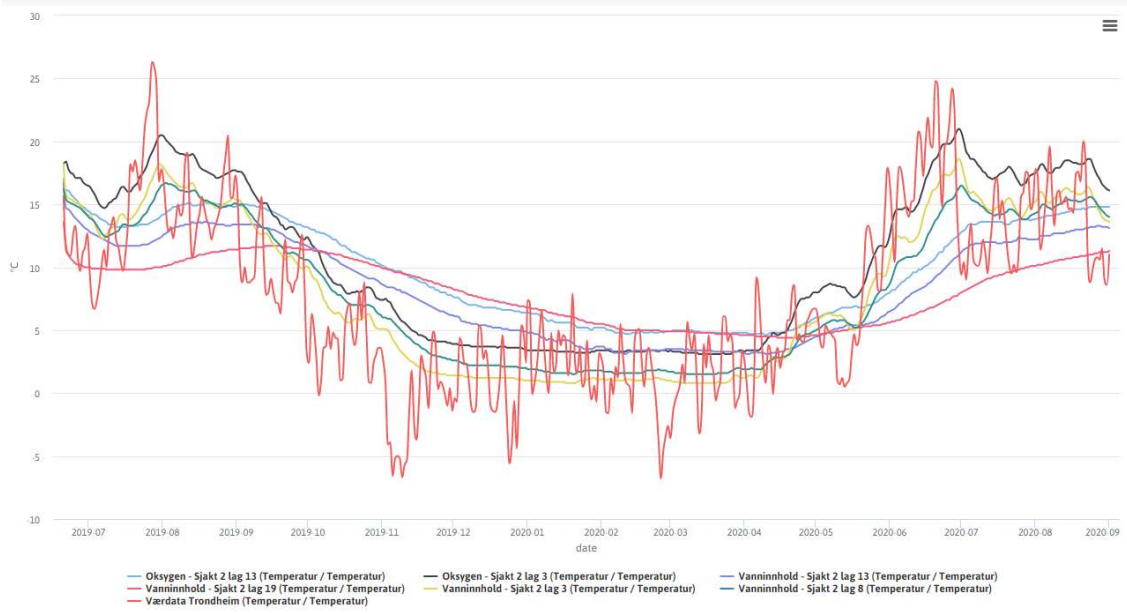
#### Ledningsevne og pH



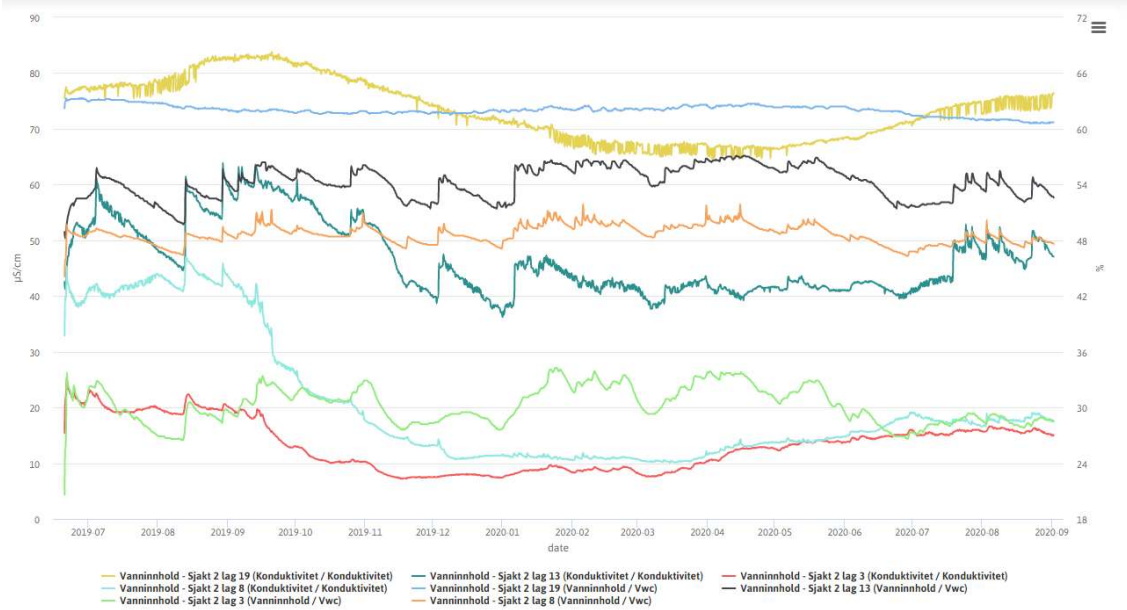
#### Oksygen og redokspotensiale



## Temperatur



## Vanninnhold og ledningsevne

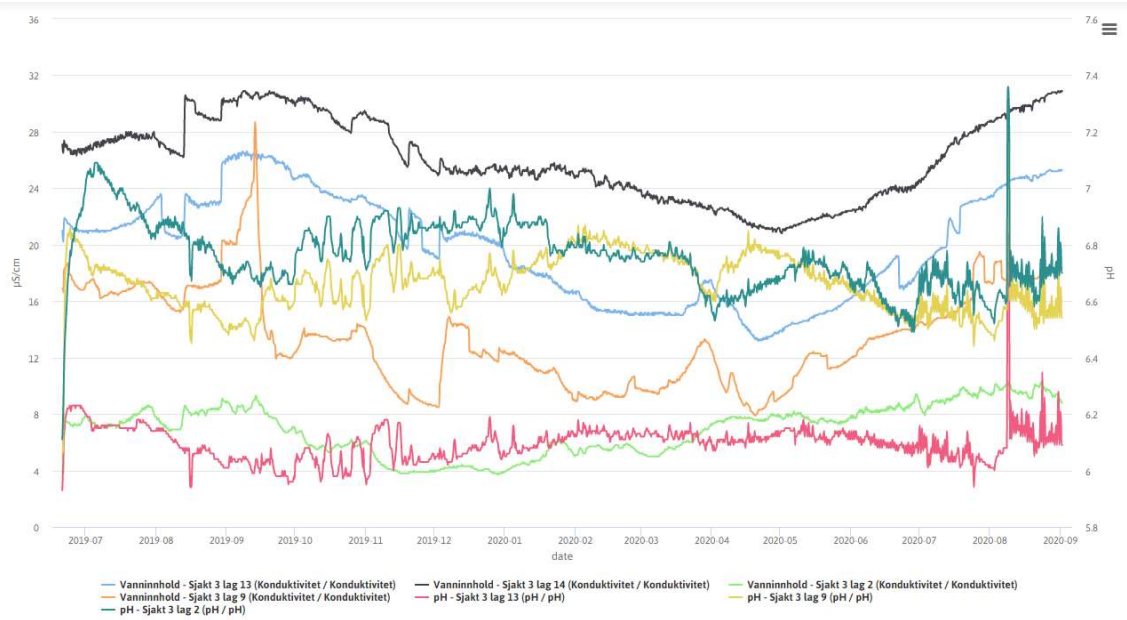


## Vanninnhold og nedbør

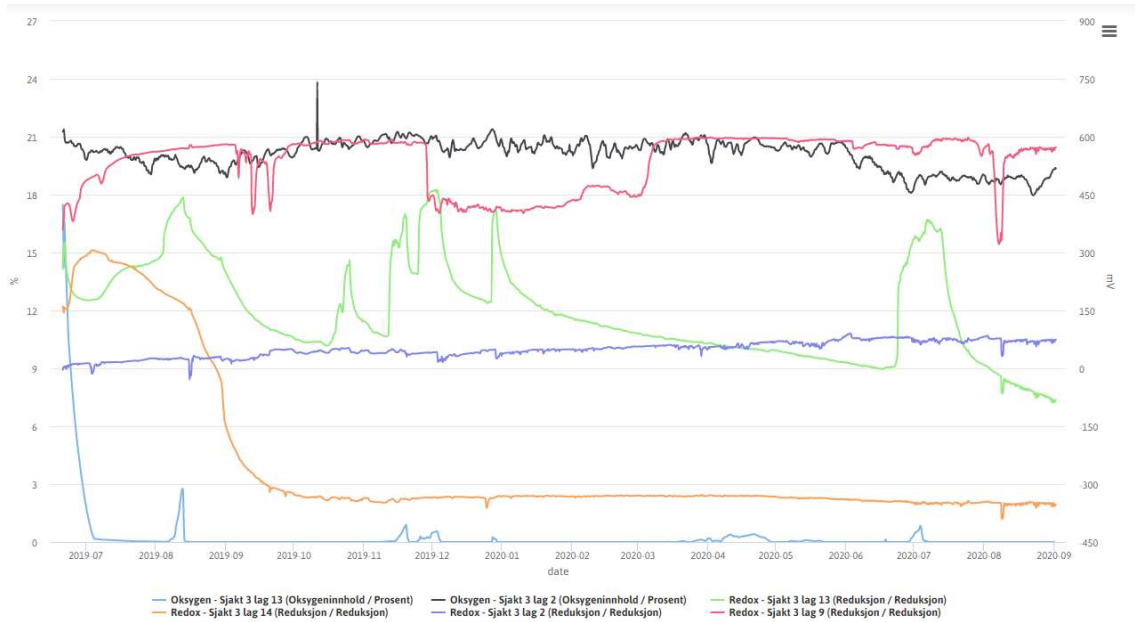


## Skap 2 - Miljøprofil 2

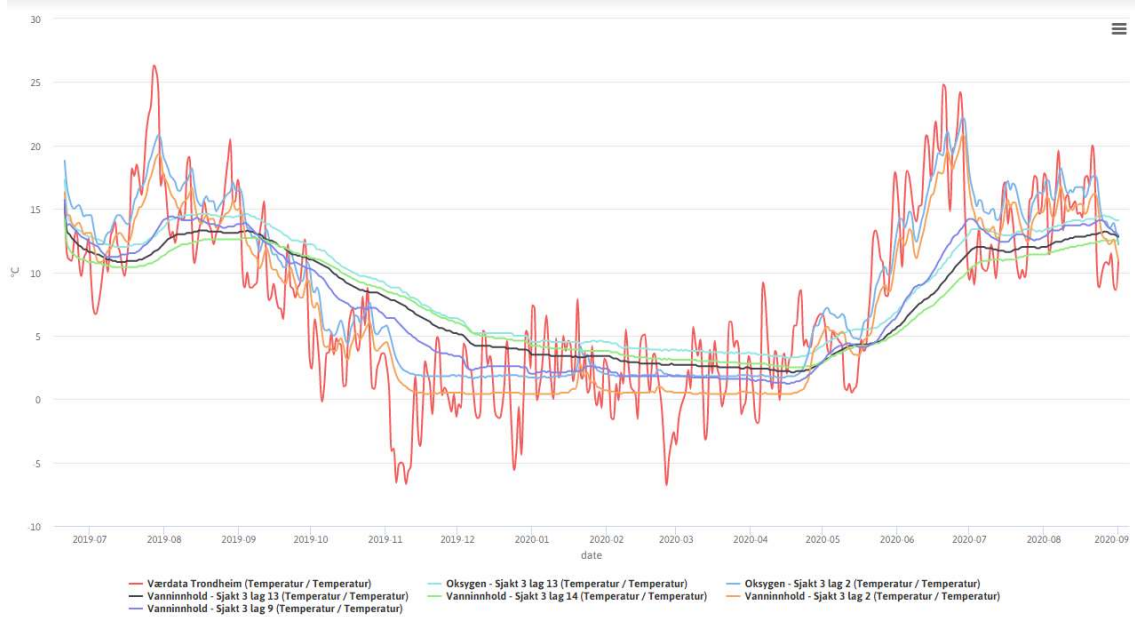
### Ledningsevne og pH



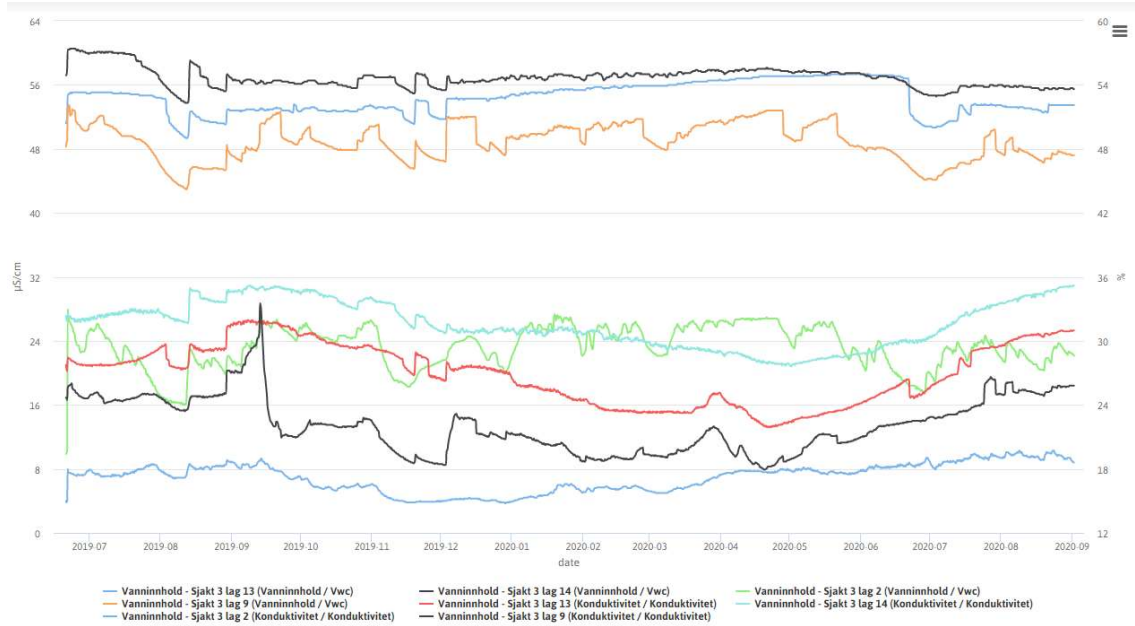
### Oksygen og redokspotensiale



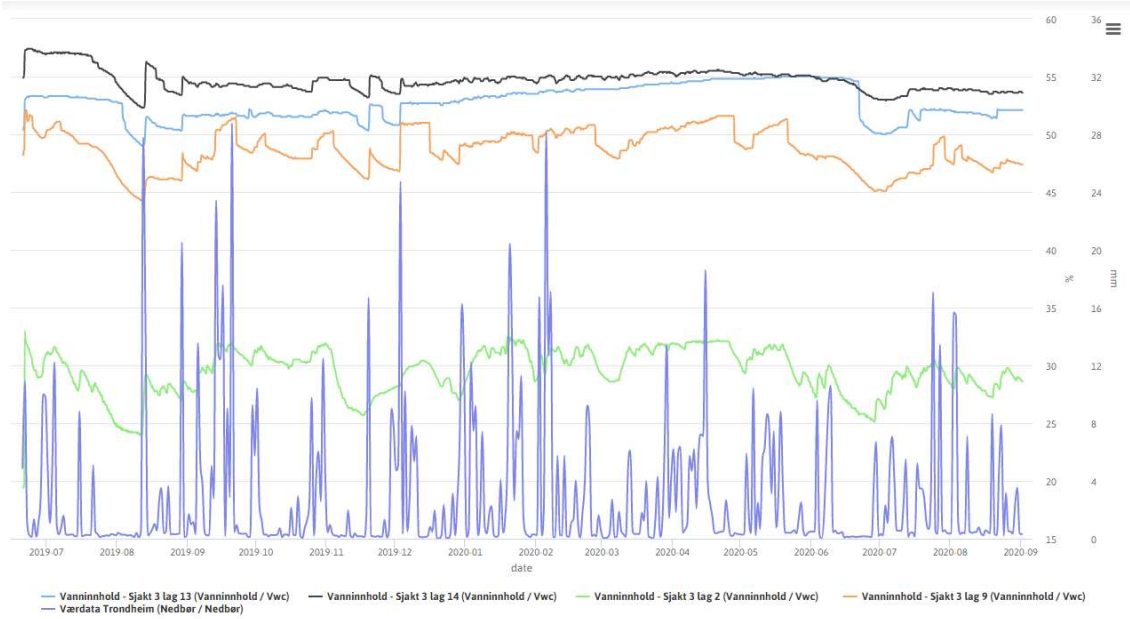
## Temperatur



## Vanninnhold og ledningsevne



## Vanninnhold og nedbør



Norsk institutt for kulturminneforskning er et uavhengig forsknings- og kompetansemiljø med kunnskap om norske og internasjonale kulturminner.

Instituttet driver forskning og oppdragsvirksomhet for offentlig forvaltning og private aktører på felter som by- og landskapsplanlegging, arkeologi, konservering og bygningsvern.

Våre ansatte er konservatorer, arkeologer, arkitekter, ingeniører, geografer, etnologer, samfunnsvitere, kunsthistorikere, forskere og rådgivere med spesiell kompetanse på kulturarv og kulturminner.

[www.niku.no](http://www.niku.no)

NIKU Rapport 104  
ISSN 1503-4895  
ISBN 978-82-8101-249-3

**NIKU hovedkontor**  
Storgata 2  
Postboks 736 Sentrum  
0105 OSLO  
Telefon: 23 35 50 00

**NIKU Tønsberg**  
Farmannsveien 30  
3111 TØNSBERG  
Telefon: 23 35 50 00

**NIKU Bergen**  
Dreggsallmenningen 3  
Postboks 4112 Sandviken  
5835 BERGEN  
Telefon: 23 35 50 00

**NIKU Trondheim**  
Kjøpmannsgata 1b  
7013 TRONDHEIM  
Telefon: 23 35 50 00

**NIKU Tromsø**  
Framsenteret  
Hjalmar Johansens gt.  
14  
9296 TROMSØ  
Telefon: 77 75 04 00